

Docket No.: 57454-237

*175  
1-2502*  
**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**



In re Application of

Takayoshi OZAKI, et al.

Serial No.:

Group Art Unit:

Filed: September 19, 2001

Examiner:

For: STRUCTURE OF REFLUX FAN FOR EXCIMER LASER APPARATUS

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents  
Washington, DC 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2000-283486, filed September 19, 2000

Japanese Patent Application No. 2000-283487, filed September 19, 2000

Japanese Patent Application No. 2000-283488, filed September 19, 2000

Japanese Patent Application No. 2000-318819, filed October 19, 2000

cited in the Declaration of the present application. Certified copies is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

A handwritten signature in black ink, appearing to read "S. A. Becker".

Stephen A. Becker  
Registration No. 26,527

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 SAB:prp  
**Date: September 19, 2001**  
Facsimile: (202) 756-8087

57454-237  
OZAKI et al.  
September 19, 01

日本国特許庁 McDermott, Will & Emery  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 9月19日

出願番号

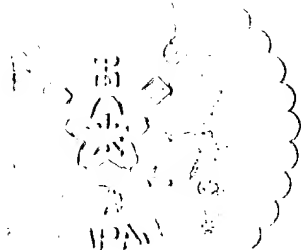
Application Number:

特願2000-283486

出願人

Applicant(s):

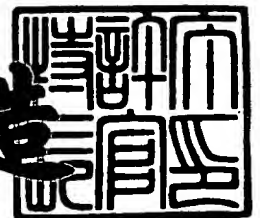
エヌティエヌ株式会社



2001年 8月 3日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3069768

【書類名】 特許願

【整理番号】 1001328

【提出日】 平成12年 9月19日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F04D 29/04

【発明者】

    【住所又は居所】 静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社  
社内

    【氏名】 尾崎 孝美

【発明者】

    【住所又は居所】 静岡県磐田市東貝塚1578番地 エヌティエヌ株式会社  
社内

    【氏名】 矢田 雄司

【特許出願人】

    【識別番号】 000102692

    【住所又は居所】 大阪市西区京町堀1丁目3番17号

    【氏名又は名称】 エヌティエヌ株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100064746

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

    【識別番号】 100085132

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

    【識別番号】 100091395

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 吉田 博由

【選任した代理人】

【識別番号】 100091409

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 英彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ファンがとりつけられた回転軸と、前記回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、前記制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、前記回転軸を回転させるためのモータを備え、前記モータの駆動によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、

前記制御型磁気軸受は、

軸方向の 2 箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、

1 個のアキシャル電磁石と、少なくとも 1 個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、

前記アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、前記永久磁石は前記回転軸の他方端面に対向して配置され、

前記ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石は前記アキシャル電磁石の近傍に配置され、他方のラジアル電磁石は前記回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする、エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 2】 その軸方向のほぼ中央部にファンがとりつけられた回転軸と、前記回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、前記制御型磁気軸受が前記回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、前記回転軸を回転させるためのモータを備え、前記モータの駆動によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、

前記制御型磁気軸受は、

軸方向の 2 箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、

1 個のアキシャル電磁石と、少なくとも 1 個の永久磁石とを含むアキシャル

磁気軸受とを含み、

前記アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、前記永久磁石は前記回転軸の他方端面に対向して配置され、

前記モータは前記アキシャル電磁石に近接して配置され、

前記ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石は前記モータと前記ファンとの間に配置され、他方のラジアル電磁石は前記回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする、エキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 3】 前記保護軸受は、

前記回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、前記アキシャル電磁石と前記モータの近傍に配置される第 1 の保護軸受と、

前記回転軸のラジアル方向のみを支持し、前記他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第 2 の保護軸受とを含むことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 4】 さらに、前記モータと前記ファンとの間に配置される第 3 の保護軸受を含むことを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 5】 前記回転軸の前記ラジアル電磁石と前記アキシャル電磁石と前記永久電磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、

前記アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は前記回転軸に固着され、

前記軟質磁性材料を除き、前記回転軸は前記アキシャル電磁石側から前記永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、前記アキシャル電磁石および前記第 1 の保護軸受または前記第 1 の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料、ステータおよび前記ファンを前記回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で前記回転軸を前記チャンバおよびハウジング外部に取り外すことができることを特徴とする、請求項 1 または 3 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 6】 さらに、前記モータに近接するラジアル磁気軸受のラジアル電磁石を制御するために、P I D 制御と並列に回転数またはモータ電流値によってゲイン調整を変化させる比例要素を含む制御回路を備えた、請求項 1 から 5 のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 7】 前記ラジアル電磁石は円周方向に複数極の磁極を有し、各磁極ごとにコイルが巻回されており、近接する 2 つの磁極が対となって前記回転軸間の電磁石で電磁力を発生し、

前記対となる磁極に巻回されたコイルには異なる制御出力に基づいて電流が流されることを特徴とする、請求項 1 から 6 のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 8】 前記制御出力は、近接する回転軸の位置センサ出力を P I D 演算によって出力されたものと、P D 制御によって演算されて出力されたものを含むことを特徴とする、請求項 7 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 9】 前記回転軸の回転数またはモータ電流に応じて、前記 P I D 制御のパラメータを変更することを特徴とする、請求項 8 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 1 0】 前記磁気軸受の制御はソフトウェア処理によることを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 1 1】 前記モータは、渦電流モータであることを特徴とする、請求項 1 から 1 0 のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 1 2】 前記アキシアル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、

前記軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする、請求項 1 から 1 1 のいずれかに記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【請求項 1 3】 前記回転センサによって得られた回転数に応じて、前記一方のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする、請求項 1

2 に記載のエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明はエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造に関し、特に、当該ファンにおける回転軸を支持しかつ回転させる構造に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンには、低振動特性および耐久性が要求され、これに対応するために、貫流ファンに使用する軸受には非接触支持でメンテナンスフリーが実現できる磁気軸受が検討されている。

【0 0 0 3】

たとえば、特開平 1 1 - 0 8 7 8 1 0 号公報や特開平 1 1 - 3 0 3 7 9 3 号公報には、磁気軸受の採用例が示されている。これらの公報には、2 個のラジアル磁気軸受と 2 個のアキシャル電磁石からなるアキシャル磁気軸受によって回転軸を非接触で支持し、かつ回転軸に固着したモータロータをステータ側のモータステータによって回転駆動させる構成が示されている。

【0 0 0 4】

図 1 1 はエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の基本構成を示す断面図である。図 1 1 において、ファン 2 0 3 はチャンバ 2 0 1 内に配置され、チャンバ 2 0 1 内にはレーザガスが封入されている。チャンバ 2 0 1 内で回転軸 2 0 2 に取付けられたファン 2 0 3 が回転する。回転軸 2 0 2 を支持する磁気軸受は、チャンバ 2 0 1 の両側に配置され、図 1 1 の左側には、それぞれラジアル電磁石 2 0 4 と位置センサ 2 0 5 とで構成されるラジアル磁気軸受 2 0 6 と、アキシャル電磁石 2 0 7, 2 0 8 と位置センサ 2 0 9 で構成されるアキシャル磁気軸受 2 1 0 と、モータロータ 2 1 8 およびモータステータ 2 1 7 で構成されるモータ 2 1 1 と、回転軸 2 0 2 を保護するためにラジアル方向およびアキシャル方向を支持できるタッチダウン軸受としての保護軸受 2 1 2 が配置されている。

【0 0 0 5】



図 1 1 の右側には、ラジアル電磁石 2 1 3 および位置センサ 2 1 4 で構成されるラジアル磁気軸受 2 1 5 と、ラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受 2 1 6 とが設けられている。

#### 【 0 0 0 6 】

ここで、保護軸受 2 1 2 とモータステータ 2 1 7 とラジアル電磁石 2 0 4 の内径はほぼ同軸となるように調整されている。保護軸受 2 1 2 の内径とその対向する回転軸 2 0 2 との隙間は、モータステータ 2 1 7 とラジアル電磁石 2 0 4 の各内径とその対向する回転軸 2 0 2 との隙間の最小寸法よりも僅かに小さく設定され、回転軸 2 0 2 とラジアル電磁石 2 0 4、モータステータ 2 1 7 との接触を防いでいる。

#### 【 0 0 0 7 】

アキシアル磁気軸受 2 1 0 およびラジアル磁気軸受 2 0 6、2 1 5 はそれぞれ位置センサ 2 0 9、2 0 5 および 2 1 4 によって回転軸 2 0 2 の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算した信号を、図示しない制御回路で位相補償し、パワーアンプで電流増幅して対応する電磁石のコイルに電流が流される。

#### 【 0 0 0 8 】

##### 【発明が解決しようとする課題】

図 1 1 に示したエキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンにおいて、貫流させるガスの圧力が最大 5 0 0 0 h P a と高い結果、この高出力下でファン 2 0 3 を回転させるために、その回転軸 2 0 2 を駆動させるモータ 2 1 1 の出力を高くする必要がある。ところが、モータ出力が高いために、モータ 2 1 1 を構成しているモータロータ 2 1 8 とモータステータ 2 1 7 間の吸引力が強くなってしまう。これは、単純にモータロータ 2 1 8 を内蔵する回転軸 2 0 2 に対する外乱が増加するだけでなく、回転軸 2 0 2 を支持するラジアル磁気軸受 2 0 6 の制御安定性にも影響を及ぼす。

#### 【 0 0 0 9 】

ラジアル磁気軸受の支持は、モータ 2 1 1 の影響しない非回転時とモータの影響が大きい最高回転時の両状態において安定して制御する必要がある。さらに、

貫流されるガス圧力も最大 5 0 0 0 h P a 以下のすべての圧力領域で回転させることが必要となり、磁気軸受制御の安定性の確保が困難であった。

#### 【 0 0 1 0 】

図 1 2 はラジアル磁気軸受部付近の構造を示し、図 1 3 は図 1 2 のラジアル磁気軸受に基づくモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図を示す。

#### 【 0 0 1 1 】

図 1 2 において、所望のラジアル磁気軸受電磁石 2 0 4 と回転軸 2 0 2 との間の距離を  $X_0$  とし、この距離  $X_0$  からの変位  $x$  を測定し、その測定値に基づいてラジアル磁気軸受電磁石 2 0 4 の吸引力を調整することで、回転軸 2 0 2 の浮上位置が制御される。ここで、ラジアル磁気軸受 2 0 6 の近傍にはモータ 2 1 1 が配置され、このモータ 2 1 1 によってラジアル磁気軸受 2 0 6 の制御に影響が出る。

#### 【 0 0 1 2 】

図 1 3 において、 $P(s)$  はモータ 2 1 1 を考慮しない磁気軸受単独の制御対象を表わし、 $G(s)$  は磁気軸受制御回路の伝達関数を示す、 $x$  は回転軸の所定の浮上距離  $X_0$  位置からの変位を示している。回転軸の変位  $x$  を検出する位置センサの出力  $x'$  と指令値  $R$  とを比較演算した後、比例、積分および微分要素からなる制御回路で構成される磁気軸受制御回路  $G(s)$  で演算された電磁力  $F_a$  が回転軸 2 0 2 に作用し、回転軸 2 0 2 を所定の位置に支持する。ここで、 $k_m$  はモータ 2 1 1 の持つ負のばね定数である。

#### 【 0 0 1 3 】

図 1 2 において、回転軸 2 0 2 が下方に移動すれば、下方のモータステータ 2 1 7 からの吸引力  $F_m$  が増加し、見かけ上負のばね定数となる。 $k_m$  の値はモータ 2 1 1 の出力が増加する点すなわちモータロータ 2 1 8 とモータステータ 2 1 7 との間の吸引力が増加するに従って大きな値となる。すなわち、磁気軸受の制御は、この  $k_m$  を考慮した設計が必要となるが、この  $k_m$  は大きく変動する（回転駆動を停止している状態ではこの  $k_m$  は 0 となる）ため、すべての状態で磁気軸受支持の安定性を確保することが難しくなる。

## 【 0 0 1 4 】

図 1 4 はモータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象（図 1 3 では F a から x までの伝達関数）のボード線図のゲイン曲線を示す。図 1 4 において、実線 a はモータ非回転時のゲイン曲線であり、実線 b はモータ駆動時のゲイン曲線を示す。モータ駆動時のそのゲイン曲線は低周波数域で低下していることがわかる。これらの、低周波数域でのゲインの低下や、低周波数域の広い領域でゲイン曲線に平坦な特性（ゲインの周波数勾配がほぼ 0）を持つために、磁気軸受の制御性は悪くなる。

## 【 0 0 1 5 】

図 1 5 は磁気軸受の制御対象をもとに、両状態（モータ駆動時と非駆動時）で安定性を確保する磁気軸受制御回路を設計した場合の開ループ伝達関数を示す図である。

## 【 0 0 1 6 】

図 1 5 において、（a）はゲイン特性であり、（b）は位相特性であり、実線 c はモータ非駆動時で、実線 d はモータ駆動時の開ループ伝達関数である。モータ 2 1 1 を駆動することで図 1 4 （a）に示すゲイン余裕は A から A' に減少し、制御の安定性についての余裕が大幅に減少することがわかる。これに対する対抗策としては、クロスオーバー周波数を高周波側に設定し、モータの影響を抑制する方法もあるが、エキシマレーザ装置では、レーザ発振のために高電圧によって放電させ、レーザガスを励起させる。このため、エキシマレーザ装置に使用する磁気軸受では、この高周波ノイズに影響されないようにするため、極力磁気軸受の制御ゲインを下げる必要がある。また、使用するファン 2 0 3 は軸方向に長く、回転軸 2 0 2 自体が長くなる結果、回転軸 2 0 2 の曲げモード固有振動数が低下するという問題もあり、これを安定して制御するためにも磁気軸受制御系のゲインを下げる必要がある。これらの理由により、高周波域のゲインを上げることになるクロスオーバー周波数を高周波側に設定するといった手法はとることができない。

## 【 0 0 1 7 】

このように、エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンは、貫流させ

るガス圧力が最大5000hPaであるように高く、この高出力側でファン203を回すためにその回転軸202を駆動させるモータ211の出力は高くなる結果、負のばね定数であるkmが大きくなること、さらに高周波ノイズ発生源が近傍にあること、さらに回転軸202が長くなるために磁気軸受制御の制御安定性の確保が難しくなるというエキシマレーザ装置固有の問題があった。

【0018】

また、回転軸202が長尺のために、回転軸202の曲げ固有振動数が低くなり、磁気軸受の制御性が悪いこと、さらに回転軸202が曲がりやすいといった問題もある。

【0019】

それゆえに、この発明の主たる目的は、モータ駆動時も磁気軸受のゲインを上げずに安定した磁気軸受制御が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供することである。

【0020】

【課題を解決するための手段】

この発明は、ファンがとりつけられた回転軸と、回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、制御型磁気軸受が回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、回転軸を回転させるためのモータを備え、モータの回転によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、制御型磁気軸受は、軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、アキシャル電磁石は前記回転軸の一方端面に対向して配置され、永久磁石は回転軸の他方端面に対向して配置され、ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石はアキシャル電磁石の近傍に配置され、他方のラジアル電磁石は回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする。

【0021】

その結果、モータ側のラジアル磁気軸受によってモータのもつ負のばね要素を

補正することにより、モータ駆動時に磁気軸受ゲインを上げることなく安定した磁気軸受制御が可能となる。

【 0 0 2 2 】

他の発明は、その軸方向のほぼ中央部にファンがとりつけられた回転軸と、回転軸を非接触で支持する制御型磁気軸受と、制御型磁気軸受が回転軸を支持できない場合に該回転軸を支持する保護軸受と、回転軸を回転させるためのモータを備え、モータの回転によるファンの回転によってチャンバ内のレーザガスを循環させるエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造において、制御型磁気軸受は、軸方向の2箇所に配置したラジアル電磁石と、各ラジアル電磁石の周辺に配置した位置検出センサとを含むラジアル磁気軸受と、1個のアキシャル電磁石と、少なくとも1個の永久磁石とを含むアキシャル磁気軸受とを含み、アキシャル電磁石は回転軸の一方端面に対向して配置され、永久磁石は回転軸の他方端面に対向して配置され、モータはアキシャル電磁石に近接して配置され、ラジアル磁気軸受の一方のラジアル電磁石はモータとファンとの間に配置され、他方のラジアル電磁石は回転軸の端面に対向して配置した永久磁石よりも回転軸の内側に配置されることを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

また、保護軸受は、回転軸のアキシャル方向とラジアル方向の両方向を支持し、アキシャル電磁石とモータの近傍に配置される第1の保護軸受と、回転軸のラジアル方向のみを支持し、他方のラジアル電磁石の近傍に配置される第2の保護軸受とを含むことを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

さらに、モータとファンとの間に配置される第3の保護軸受を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

また、回転軸のラジアル電磁石とアキシャル電磁石と永久磁石に対向する部分には軟質磁性材料が設けられていて、アキシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料は回転軸に固着され、軟質磁性材料を除き、回転軸はアキシャル電磁石側から永久磁石側に向けて、その直径が等しいかまたは小さくされていて、アキ

シャル電磁石および第 1 の保護軸受または第 1 の保護軸受を固定している保護軸受用ハウジングをハウジングから外し、さらにアキシシャル電磁石に対向する回転軸の軟質磁性材料およびファンを回転軸から外すことにより、チャンバからハウジングを外さない状態で回転軸をチャンバおよびハウジング外部に取り外すことができることを特徴とする。

## 【 0 0 2 6 】

さらに、モータに近接するラジアル磁気軸受のラジアル電磁石を制御するために、PID 制御と並列に回転数またはモータ電流値によってゲイン調整を変化させる比例要素を含む制御回路を備えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 7 】

また、ラジアル電磁石は円周方向に複数極の磁極を有し、各磁極ごとにコイルが巻回されており、近接する 2 つの磁極が対となって回転軸間の電磁石で電磁力を発生し、対となる磁極に巻回されたコイルには異なる制御出力に基づいて電流が流されることを特徴とする。

## 【 0 0 2 8 】

また、制御出力は、近接する回転軸の位置センサ出力を PID 演算によって出力されたものと、PD 制御によって演算されて出力されたものを含むことを特徴とする。

## 【 0 0 2 9 】

また、回転軸の回転数またはモータ電流に応じて、PID 制御のパラメータを変更することを特徴とする。

## 【 0 0 3 0 】

また、磁気軸受の制御はソフトウェア処理によることを特徴とする。

さらに、モータは、渦電流モータであることを特徴とする。

## 【 0 0 3 1 】

さらに、アキシシャル磁気軸受の電磁石に対向する回転軸には切り欠きまたは穴の形成された軟質磁性部材が設けられ、軟質磁性部材に対向する位置に磁気式の回転センサが設けられることを特徴とする。

## 【 0 0 3 2 】

さらに、回転センサによって得られた回転数に応じて、一方のラジアル磁気軸受の制御パラメータを変更することを特徴とする。

#### 【 0 0 3 3 】

##### 【発明の実施の形態】

図 1 はこの発明の一実施形態の縦断面図である。この図 1 は、エキシマガスを循環させるファン 3 およびその周辺部を示している。チャンバ 1 内にはレーザガスが封入されており、このチャンバ 1 内で回転軸 2 に取付けられたファン 3 が回転する。回転軸 2 を支持する磁気軸受はチャンバ 1 の両側に配置され、図 1 において左側にはラジアル電磁石 4 と位置センサ 6 とで構成されるラジアル磁気軸受 1 0 1 と、アキシャル磁気軸受の一部であるアキシャル電磁石 8 と位置センサ 9 と、モータステータ 1 0 およびモータロータ 1 7 で構成されるモータ 1 0 4 と、回転軸を保護するために配置され、ラジアル方向およびアキシャル方向を支持する保護軸受 1 1 とが配置されている。図 1 において右側には、ラジアル電磁石 1 2 と位置センサ 1 3 で構成される 1 個のラジアル軸受 1 0 3 と、アキシャル磁気軸受の一部であるステータ側の永久磁石 1 4 と回転軸 2 側の磁性体で構成した吸引機構およびラジアル方向のみの支持を可能とする保護軸受 1 5 とが設けられている。

#### 【 0 0 3 4 】

図 1 1 に示した従来例では、アキシャル磁気軸受 2 1 0 として 2 個のアキシャル電磁石 2 0 7, 2 0 8 を用いていたのに対して、この実施形態ではアキシャル磁気軸受制御に永久磁石 1 4 の吸引力とアキシャル電磁石 8 との吸引力の釣り合いを利用し、1 個のアキシャル電磁石を減らすことで、装置を小型化でき、さらにアキシャル電磁石コイルを駆動するためのパワー回路も不要とし、コストダウンを図ることができる。

#### 【 0 0 3 5 】

ここで、保護軸受 1 1 とモータステータ 1 0 とラジアル電磁石 4 はほぼ同軸となるように調整される。保護軸受 1 1 の内径とその対向する回転軸 2 との隙間は、モータステータ 1 0 とラジアル電磁石 4 の各内径とその対向する回転軸 2 との隙間の最小寸法よりも僅かに小さく設定され、回転軸 2 とモータステータ 1 0 お

よび各電磁石部材との接触を防いでいる。

【0036】

同様に、保護軸受15はラジアル電磁石12の内径とほぼ同軸となるように調整される。保護軸受15の内径とその対向する回転軸との隙間は、ラジアル電磁石12の内径とその対向する回転軸との隙間よりも僅かに小さく設定され、回転軸2と各電磁石部材との接触を防いでいる。

【0037】

図2はこの発明の他の実施形態を示す縦断面図である。図2において、ラジアル磁気軸受部101をモータ104とファン3との間に配置したものであり、それ以外の構成は図1と同じである。この図2に示した実施形態では、回転軸2の長さを短くできる利点がある。

【0038】

図1および図2に示した実施形態では、保護軸受11と15を2箇所に配置しているが、回転軸2が長く、長尺である場合にはその中間部にさらに第3の保護軸受16を配置してもよい。

【0039】

図3はそのような実施形態を示す断面図である。

図1～図3に示した各実施形態において、各磁気軸受部は位置センサによって回転軸の位置を検出し、各位置センサ出力と指令値とを比較演算し、その信号を制御回路で位相補償し、パワーアンプで電流増幅して該当する電磁石のコイルに電流が流される。ラジアル磁気軸受101と103に使用する制御回路は、比例、微分要素によって構成され、さらに積分要素を含むことによって、指令値と偏差の小さい定位置制御を行ない、回転軸2を支持する。モータ104の持つ負のばね要素に対する補償は、モータ104の近傍にあるラジアル磁気軸受101で行なわれる。

【0040】

このモータ101の持つ負のばね要素に対する補償のために、以下の方法が用いられる。すなわち、ラジアル磁気軸受101の制御回路で、比例要素、微分要素および積分要素で構成されるメインの位相補償回路と並列に置かれるモータ補



償回路を設け、その回路を比例要素で構成することにより、比例要素のゲインをモータの回転数もしくはモータ電流に応じて変化させる。以下具体的に説明する。

#### 【 0 0 4 1 】

図 4 はラジアル磁気軸受とモータを含む回転軸の制御系ブロック図である。

次に、図 4 を参照して、ラジアル磁気軸受 1 0 1 の制御回路内のモータ補償回路の効果について説明する。図 4 では簡略化のために、センサアンプは省略している。図 4 において  $P(s)$  はモータの影響を受けない場合のラジアル磁気軸受 1 0 1 の制御対象を示し、 $G_1(s)$  はラジアル磁気軸受 1 0 1 の制御回路を示し、 $G_2(s)$  はモータ補償回路を示し、 $k_m$  はモータによる負のばね定数を示し、 $r_1$  はラジアル磁気軸受 1 0 1 の指令値を表わす。

#### 【 0 0 4 2 】

$G_1(s)$  は比例要素、積分要素および微分要素で構成される。磁気軸受の制御対象  $P(s)$  は  $1 / (Ms^2 - k)$  で表わされる。ここで、磁気軸受も負のばね要素を持ち、 $k$  がこの負のばね定数に相当する。よって、モータの影響および  $G_2(s)$  の影響を考慮した制御対象は、すなわち  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数は次式で示される。

#### 【 0 0 4 3 】

$$P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + G_2(s))$$

そこでモータ補償回路の特性  $G_2(s) \doteq k_m$  に設定できれば、磁気軸受制御へのモータによる影響は全くなり、安定した制御が得られる。

#### 【 0 0 4 4 】

ここで、モータの影響である  $k_m$  がモータロータ 1 7 とモータステータ 1 0 との間の吸引力によって変化する。すなわち、モータ 1 0 4 のばね要素  $k_m$  はモータ回転数やモータ負荷およびモータ電流によって変化する。図 1 では、回転軸端部に回転センサ 2 1 が設けられており、この回転センサ 2 1 は磁気式センサで構成され、対向する回転軸面に切欠 2 2 を形成することによって、回転軸の回転数を測定できる。この測定した回転数によってラジアル磁気軸受 1 0 1 のモータ補償回路の伝達関数  $G_2(s)$  を変更することにより、常に最適な制御を行なうこ

とができる。

#### 【0045】

一般に、回転数が高くなるに従ってモータ104の負のばね定数 $k_m$ が大きくなるため、 $G_2(s)$ の比例ゲインは大きくする方がよい。また、モータ電流値も大きくなるに従ってモータ104の負のばね定数が増加する。モニタしたモータ104の電流値によってラジアル磁気軸受101のモータ補償回路の伝達関数 $G_2(s)$ を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。いずれも伝達関数 $G_2(s)$ の変更は、回転数もしくはモータ電流値によって連続的に変更してもよく、数段階に変更する方法であってもよい。

#### 【0046】

このように、回転数やモータ電流値によって制御を変更するためには、その制御手段としてCPUやDSPを利用したソフトウェア制御を使用した方がよい。

#### 【0047】

次に、第2の方法として、ラジアル磁気軸受101のラジアル電磁石4のコイルに2種類のコイルを巻き、第1のコイルに電流を流す制御回路には比例要素、微分要素および積分要素で構成し、第2のコイルにはモータ補償回路を用い、その回路を比例要素で構成し、この比例要素のゲインをモータ104の回転数もしくはモータ電流に応じて変化させる方法について説明する。

#### 【0048】

図5はラジアル磁気軸受の電磁石の断面図であり、図6は制御回路のブロック図である。

#### 【0049】

図5に示した電磁石は、円周方向に8極の磁極40を持ち、近接する2極の磁極によって回転軸に電磁力を発生させる。このように、ラジアル電磁石4は2つの磁極40、40およびコイル41、42でセットになっている。この対になるコイル41、42に流す各電流を、異なる制御回路によって調整することで、モータの影響を補正できる。図5の第1のコイル41を駆動する制御回路を図6に示す $G_1(s)$ とし、第2のコイル42を駆動する制御回路 $G_2(s)$ とする。 $G_1(s)$ を比例要素、微分要素および積分要素で構成することで、指令値に対

し偏差の小さい定位置制御を行ない、回転軸 2 を支持する。

【0050】

一方、 $G_2(s)$  は、比例要素と微分要素で構成し、モータの負のばね要素を補償するだけでなく、ラジアル磁気軸受 101 の制御性を向上させる。図 6 では簡単化のためにセンサアンプが省略されている。

【0051】

次に、図 7 ～ 図 10 はラジアル磁気軸受 101 の制御対象のボード線図を示しており、 $G_2(s)$  の効果について説明する。図 6 に示した  $P(s)$  はモータの影響を受けない場合の第 1 のコイル 41 から見た制御対象を示し、 $G_1(s)$  は第 1 のコイル 41 の制御回路を示し、 $G_2(s)$  は第 2 のコイル 42 の制御回路を示し、 $k_m$  はモータによる負のばね定数を示し、 $r$  はラジアル磁気軸受 101 の指令値を表わす。

【0052】

$G_1(s)$  は比例要素、積分要素および微分要素で構成される。第 1 のコイル 41 から見た制御対象  $P(s)$  は  $1 / (Ms^2 - k)$  で表わされる。 $M$  は制御対象の質量を表しており、 $s$  はラプラス演算子を表している。ここで、磁気軸受にも負のばね要素を持ち、 $k$  がこの負のばね定数に相当する。よって、モータ 104 の影響を考慮した制御対象、すなわち  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数は  $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + G_2(s))$  となる。ここで、 $G_2(s)$  を比例要素で構成した場合の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数（ゲイン曲線のみ）を図 7 に示す。

【0053】

図 7 において、実線 a はモータの影響はなく ( $k_m = 0$ )、 $G_2(s) = 0$  の場合の伝達関数を ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k)$ ) を示し、実線 b はモータの影響を含み、 $G_2(s) = 0$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m)$ ) を示し、実線 c はモータの影響を含みさらに  $G_2(s) = (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / Ms^2$ ) を示し、実線 d はモータの影響を含みさらに  $G_2(s) = k_y$ ,  $0 < k_y < (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + k_y)$ ) を示し、実線 e はモータの影響

を含みさらに  $G_2(s) = k_e$ ,  $k_e > (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + k_e)$ ) を示す。

【0054】

図7から第2のコイル用制御回路の伝達関数  $G_2(s)$  を比例要素のみで構成した場合、その比例要素のゲインが0以上  $(k + k_m)$  以下にある場合、制御対象  $P_1(s)$  の低周波数域のゲインをアップさせることができる。一方、その比例要素のゲインを  $(k + k_m)$  以上にした場合には、制御対象  $P_1(s)$  にピーク (図7におけるA) を発生させて磁気軸受制御性を損なう可能性がある。

【0055】

このように、 $G_2(s)$  を比例要素のみで構成し、かつその比例要素のゲインが0以上、 $(k + k_m)$  以下にすることで、制御対象  $P_1(s)$  の低周波数域のゲインをアップさせることができる結果、磁気軸受の安定性を向上させることができる。

【0056】

図8は  $G_2(s)$  を微分要素のみで構成した場合のF aからxまでの伝達関数を示す図であり、(a)はゲイン特性を示し、(b)は位相特性を示す。図8において、実線aはモータの影響を含み、 $G_2(s) = 0$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m)$ ) を示す。モータの影響を含みさらに  $G_2(s) = cs$  で、それぞれcの値を大きくした場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs - k - k_m)$ ) 特性を実線b, c, d, eに示す。ここで、cを微分ゲインと称する。

【0057】

図8から明らかなように、cが大きくなるほど、制御対象  $P_1(s)$  の低周波数域でのゲイン平坦部の勾配は大きくなり、さらに位相も進相特性を示すようになる。すなわち、 $G_2(s)$  を微分要素で構成することで、(a)に示す低周波数域のゲイン曲線を改善できると同時に、(b)に示すように位相も進むために、ラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上することができる。

【0058】

図9および図10は、 $G_2(s)$  を比例要素と微分要素の両方で構成した場合

の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数を示し、それぞれ (a), (b) はゲイン特性と位相特性を示す。

【0059】

図9では、実線 a は比較のために微分要素を含まない場合を示し、モータの影響を含みさらに  $G_2(s) = (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2)$ ) である。実線 b はモータの影響を含みさらに  $G_2(s) = (cs + k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs)$ ) である。

【0060】

この微分要素を入れることで、(a) に示すように低周波側のゲイン曲線の勾配は小さくなるが、(b) に示すように低周波数域の位相を進めることができる。すなわち、ラジアル磁気軸受の制御回路を比例要素と微分要素とで構成することで、低周波数域のゲイン曲線を改善できると同時に、位相も進むために、第1のコイル41と制御回路  $G_1(s)$  によるラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上できる。

【0061】

さらに、図10は、実線 a がモータの影響を含みさらに  $G_2(s) = k_e$ ,  $k_e > (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 - k - k_m + k_e)$ ) で、実線 b はモータの影響を含みさらに  $G_2(s) = cs + k_e$ ,  $k_e > (k + k_m)$  の場合の伝達関数 ( $P_1(s) = 1 / (Ms^2 + cs - k_m - k_m + k_e)$ ) を示す。

【0062】

実線 a ではそのゲイン曲線に極大を持つが、微分要素を入れることにより、その特性は改善されると同時に、位相も進めることができる。すなわち、 $G_2(s)$  を、磁気軸受のもつ負のばね定数とモータのもつ負のばね定数を加算した値以上の比例定数  $k_e$  で構成した条件においても、微分要素を追加することで、そのゲイン曲線に現われるピークを抑制でき、さらに進相特性を得ることができ、ラジアル磁気軸受101の制御性能を大幅に向上できる。

【0063】

ここで、これまでモータのばね要素が一定として扱ってきたが、実際にはモー

タ回転数やモータ電流によって変化する。図 1 では回転軸端に回転センサ 2 1 を設けており、この回転センサ 2 1 は磁気センサで構成され、対向する回転軸面に切欠 2 2 を設けたことによって、回転軸の回転数を測定できる。この測定した回転数によって  $G 2 (s)$  を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。一般に、回転数が高くなるに従ってモータの負のばね定数  $k_m$  が大きくなるため、 $G 2 (s)$  の比例ゲインは大きくする方がよい。また、モータ電流値も高くなるに従ってモータの負のばね定数は増加する。モニタしたモータの電流値によって  $G 2 (s)$  を変更することにより、常に最適な制御を行なうことができる。いずれも伝達関数  $G 2 (s)$  の変更は回転数もしくはモータ電流値によって連続的に変更してもよく、数段階に変更する方法であってもよい。

## 【 0 0 6 4 】

このように、回転数やモータ電流値によって制御を変更するためには、その制御手段として CPU や DSP を利用したソフトウェア制御を使用することができる。

## 【 0 0 6 5 】

また、これまで 2 つの磁極で構成される各電磁石内で各コイルに流す各電流を異なる制御回路によって調整し、モータの影響を補正した例について説明したが、ラジアル電磁石のうち、各隣接する 2 つの磁極対およびコイルで構成される 4 つの各磁石ごとにその制御回路を変えてもよい。

## 【 0 0 6 6 】

エキシマレーザ装置のレーザガス循環用貫流ファンは長尺であり、その質量も大きい。このため、回転軸 2 の着脱のためにハウジング 3 0 をチャンバ 1 から取外すことは困難であり、ハウジング 3 0 を取外すことなく、回転軸 2 の着脱が可能となるように図 1、図 2 および図 3 に示した実施形態では盛り込まれている。

## 【 0 0 6 7 】

すなわち、アキシアル電磁石 8 に対向する回転軸 2 には軟質磁性部材 5 1 がボルトによって回転軸 2 に締結されており、この軟質磁性部材 5 1 を除き、回転軸 2 はアキシアル電磁石 8 側から永久磁石 1 4 側に向けて、その直径は等しいかもしくは小さくされている。そして、アキシアル電磁石 8 および第 1 の保護軸受 1

1もしくは第1の保護軸受11を固定している保護軸受用ハウジング50をハウジング30から外し、さらにファン3を回転軸2から外すことで、回転軸2をチャンバ1からハウジング30を外さない状態でチャンバ1およびハウジング30の外部に取出すことができる。

【0068】

さらに、図1および図2に示した実施形態では、チャンバ1内の腐食性レーザガスによる磁気軸受やモータのダメージについての対策については盛り込んでいないが、特開平11-087810号公報で示されているように、回転軸2のまわりをキャンで覆うことで、腐食性レーザガスに対する保護を行なうようにしてもよい。

【0069】

さらに、上述の説明では、モータの影響を補償する方法について説明したが、モータロータ17とモータステータ10との間の吸引力が発生しない渦電流モータを用い、モータの影響自体をなくすようにしてもよい。

【0070】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0071】

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、回転軸の両側に2個のラジアル磁気軸受を配置し、モータ側のラジアル磁気軸受によってモータのもつ負のばね要素を補正するようにしたので、モータ駆動時に磁気軸受ゲインを上げることなく安定した磁気軸受制御が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の一実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図2】 この発明の他の実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦

断面図である。

【図 3】 この発明のさらに他の実施形態のエキシマレーザ装置用貫流ファンの縦断面図である。

【図 4】 ラジアル磁気軸受とモータを含む回転軸の制御系ブロック図である。

【図 5】 ラジアル磁気軸受の電磁石断面図である。

【図 6】 ラジアル磁気軸受の制御に関するブロック図である。

【図 7】  $G_2(s)$  を比例要素で構成した場合の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数を示す図である。

【図 8】  $G_2(s)$  を微分要素のみで構成した場合の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数を示す図である。

【図 9】  $G_2(s)$  を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数を示す図である。

【図 10】  $G_2(s)$  を比例要素と微分要素の両方で構成した場合の  $F_a$  から  $x$  までの伝達関数を示す図である。

【図 11】 従来のエキシマガスを循環させるファンおよびその周辺部の基本構成を示す図である。

【図 12】 ラジアル磁気軸受部付近の構造を示す断面図である。

【図 13】 従来のモータの影響を説明するための磁気軸受制御系のブロック図である。

【図 14】 モータ駆動時と非モータ駆動時の磁気軸受の制御対象のボード線図のゲイン曲線を示す図である。

【図 15】 磁気軸受制御回路の開ループ伝達関数を示す図である。

【符号の説明】

1 チャンバ、2 回転軸、3 ファン、4, 12 ラジアル電磁石、6, 9, 13 位置センサ、8 アクシシャル電磁石、10 モータステータ、14 永久磁石、11, 15, 16 保護軸受、17 モータロータ、21 回転センサ、22 切欠、30ハウジング、40 磁極、50 保護軸受用ハウジング、51, 52, 53 軟質磁性部材、101, 103 ラジアル磁気軸受、104

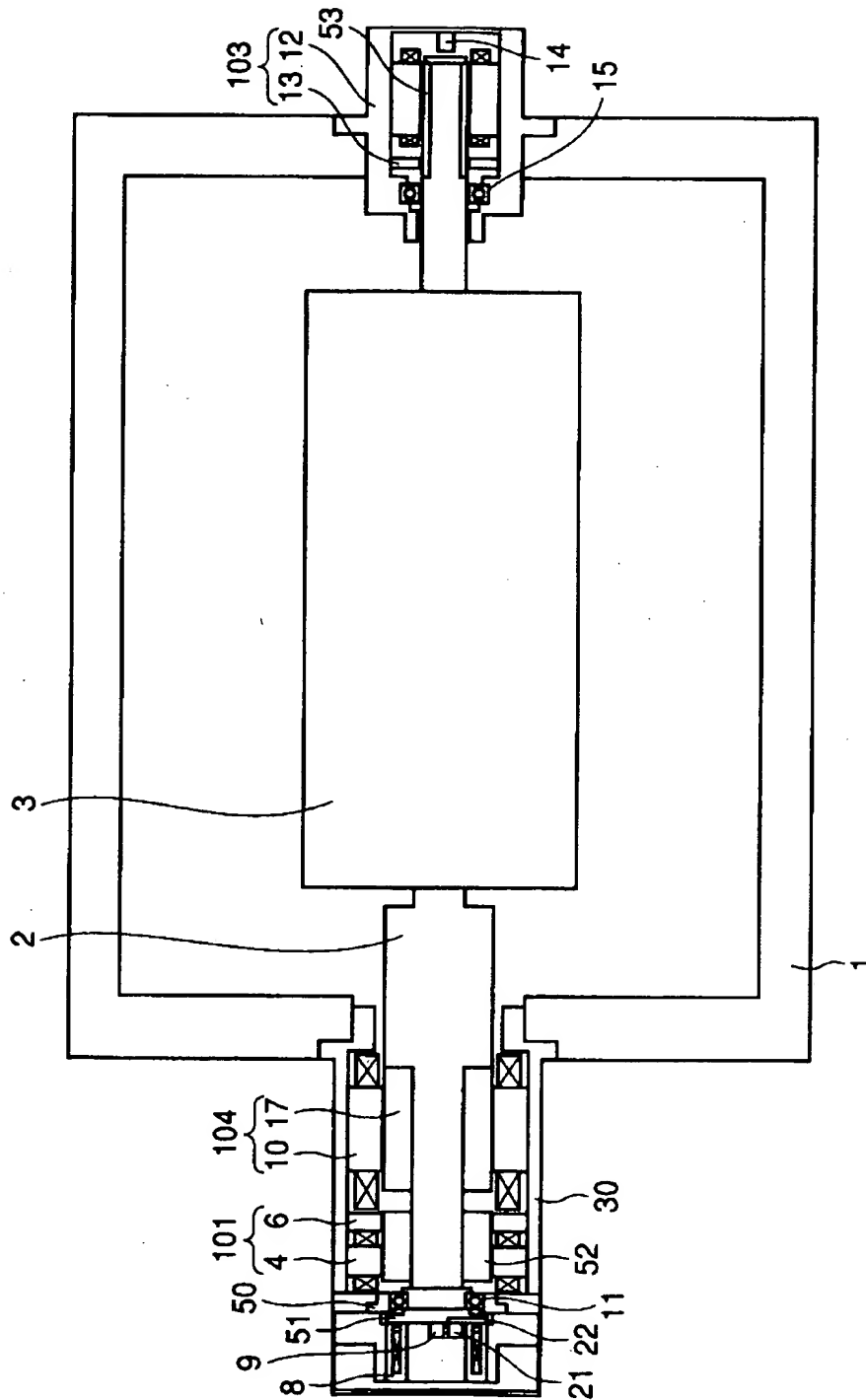


特 2 0 0 0 - 2 8 3 4 8 6

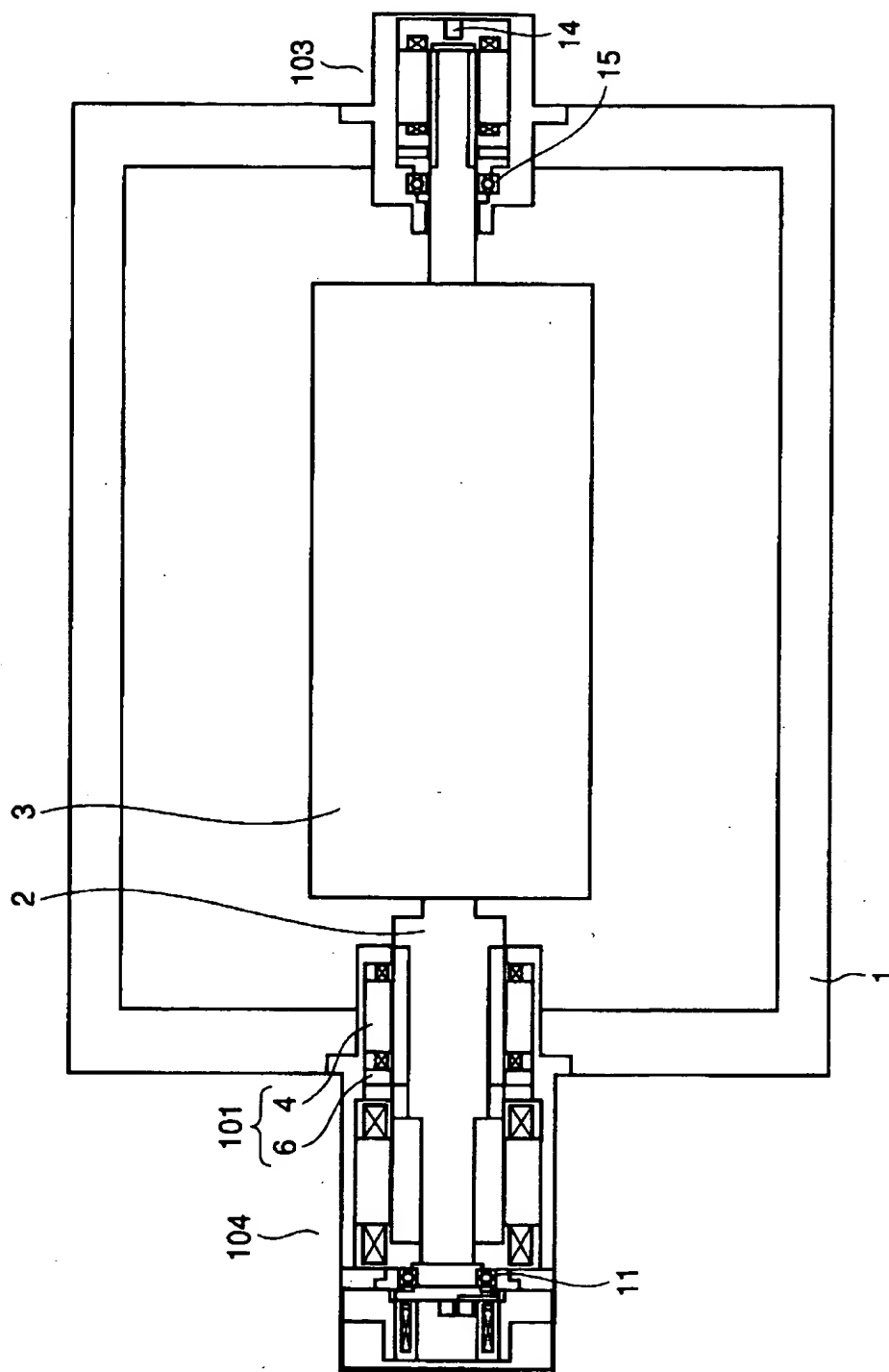
モ一タ。

【書類名】 図面

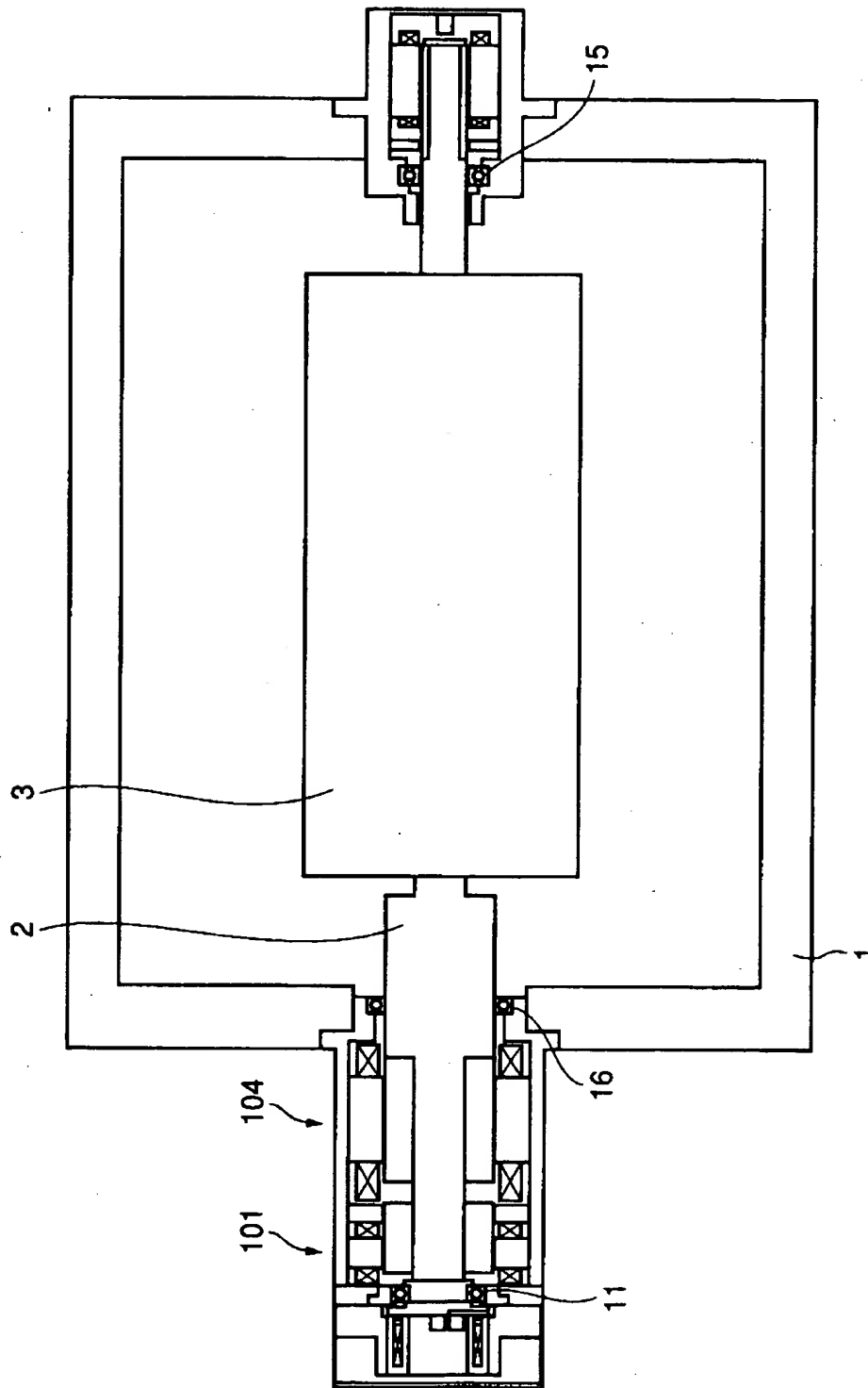
【図 1】



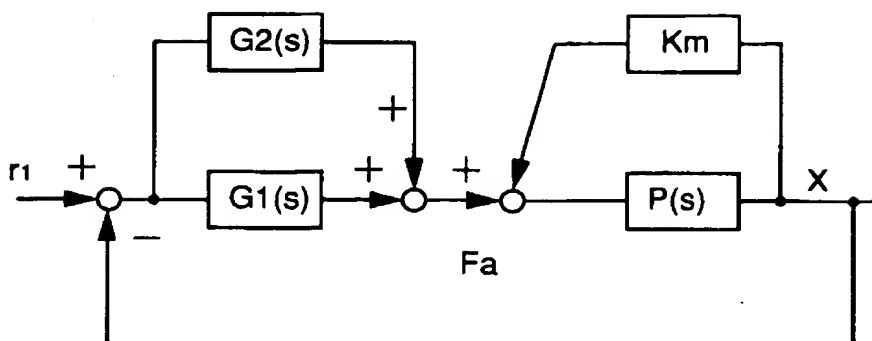
【図2】



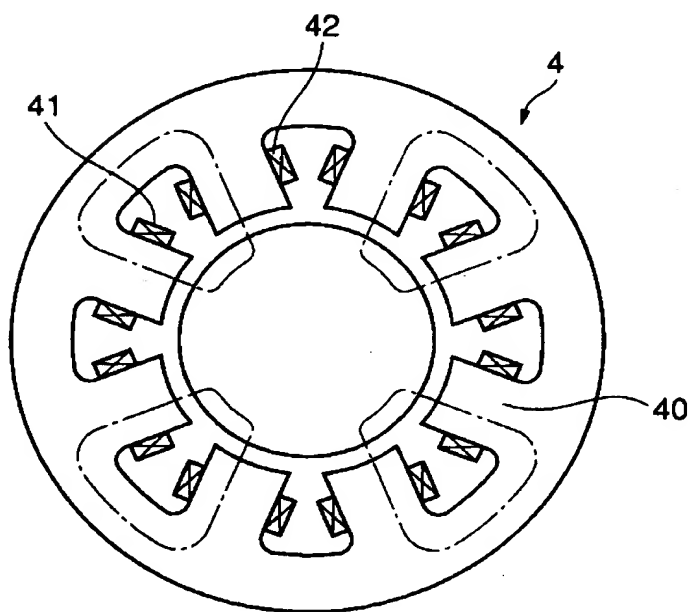
【図3】



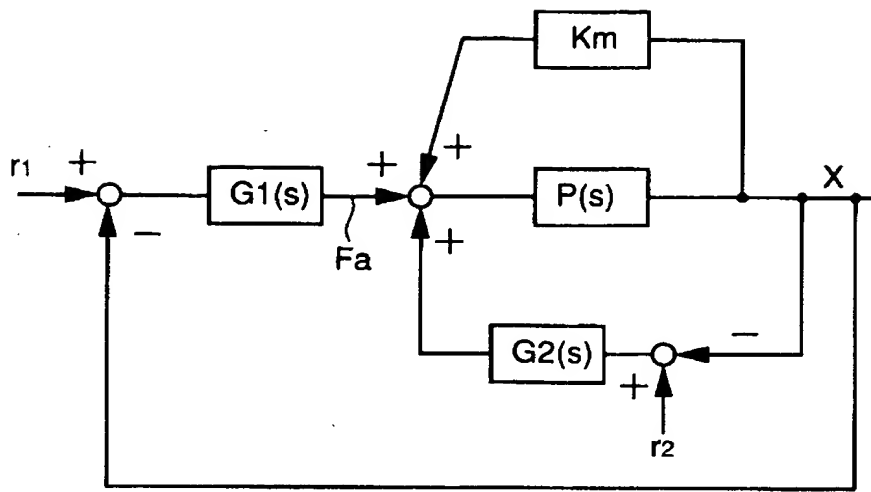
【図 4】



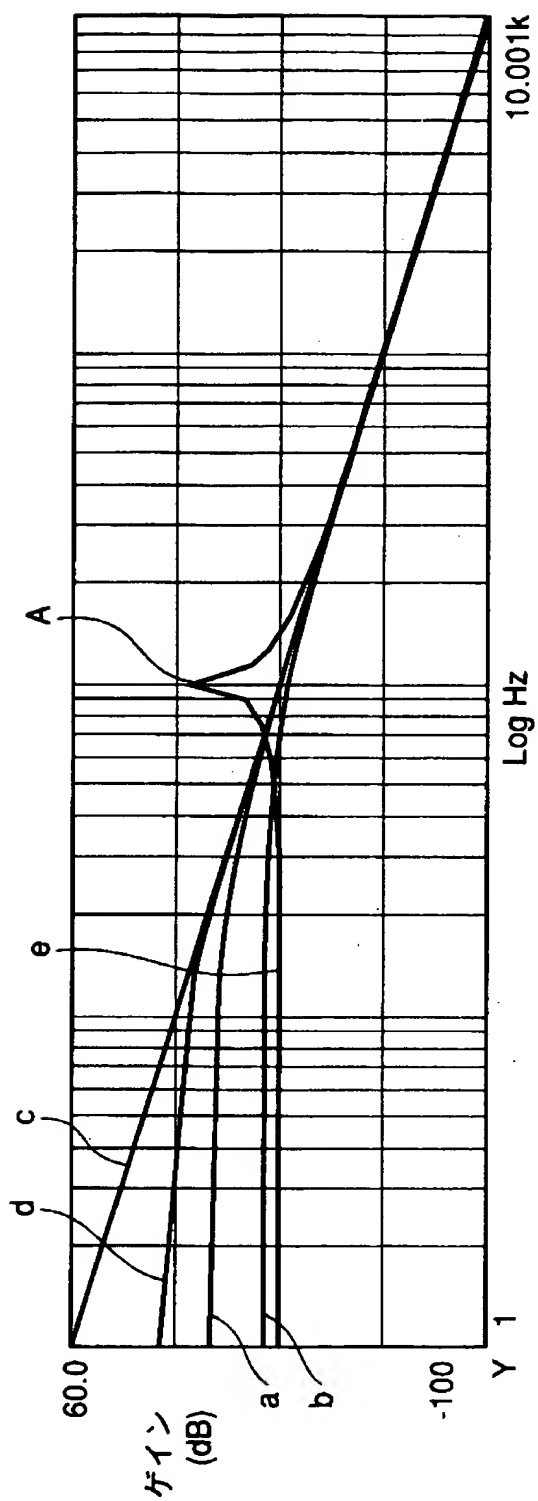
【図 5】



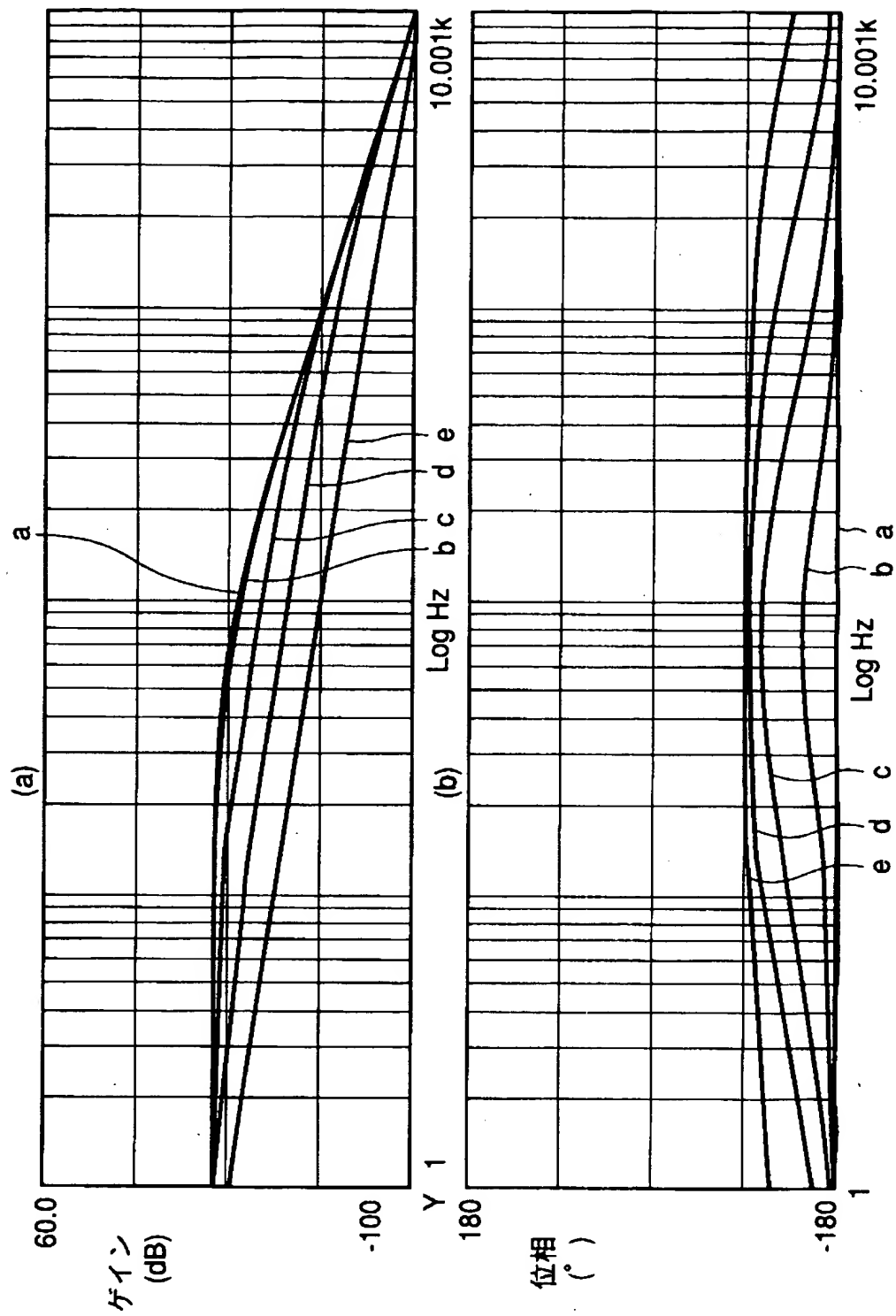
【図 6】



【図 7】

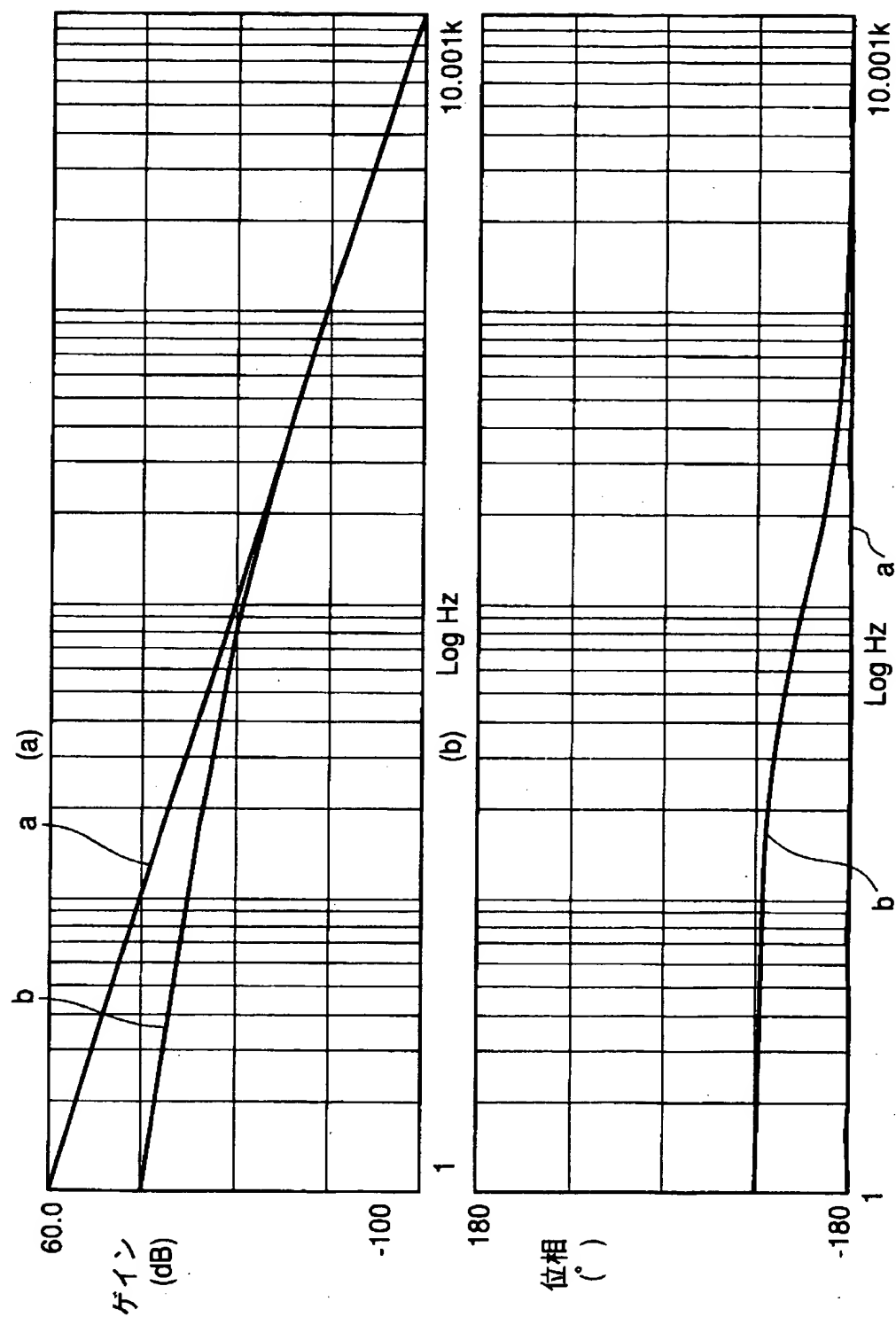


【図 8】

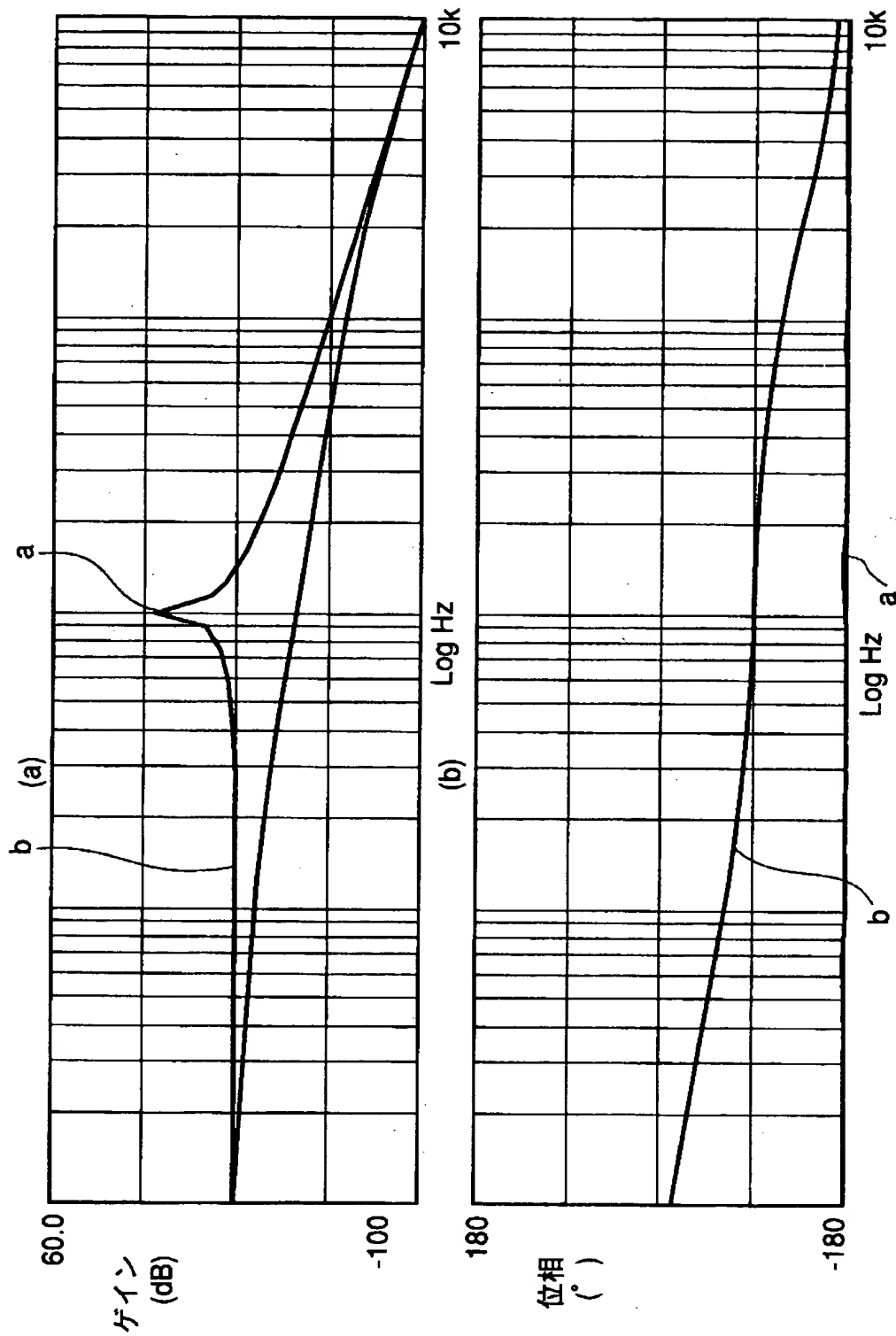




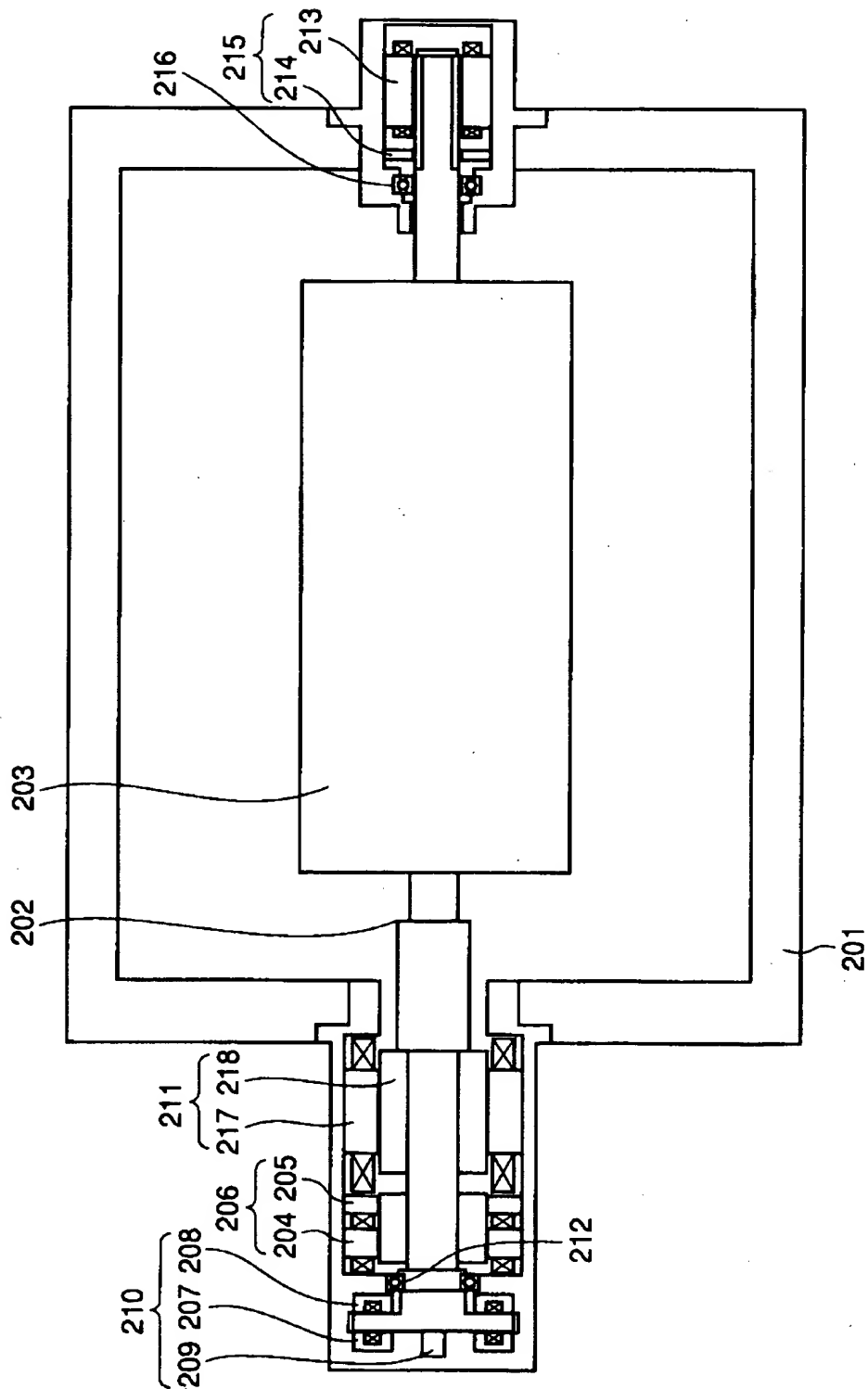
【図 9】



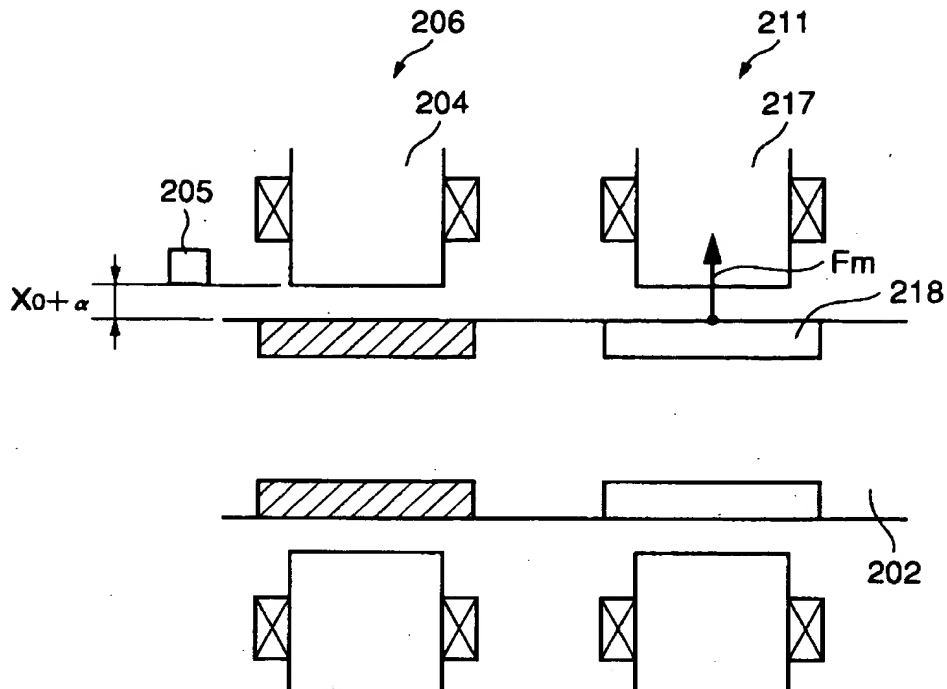
【図 1 0】



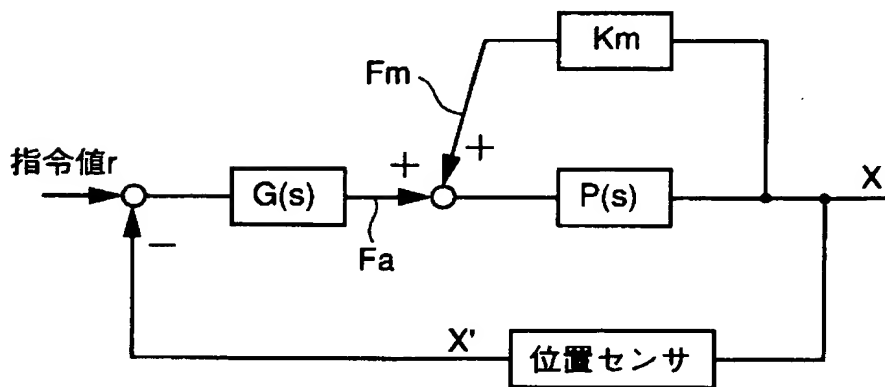
【図 11】



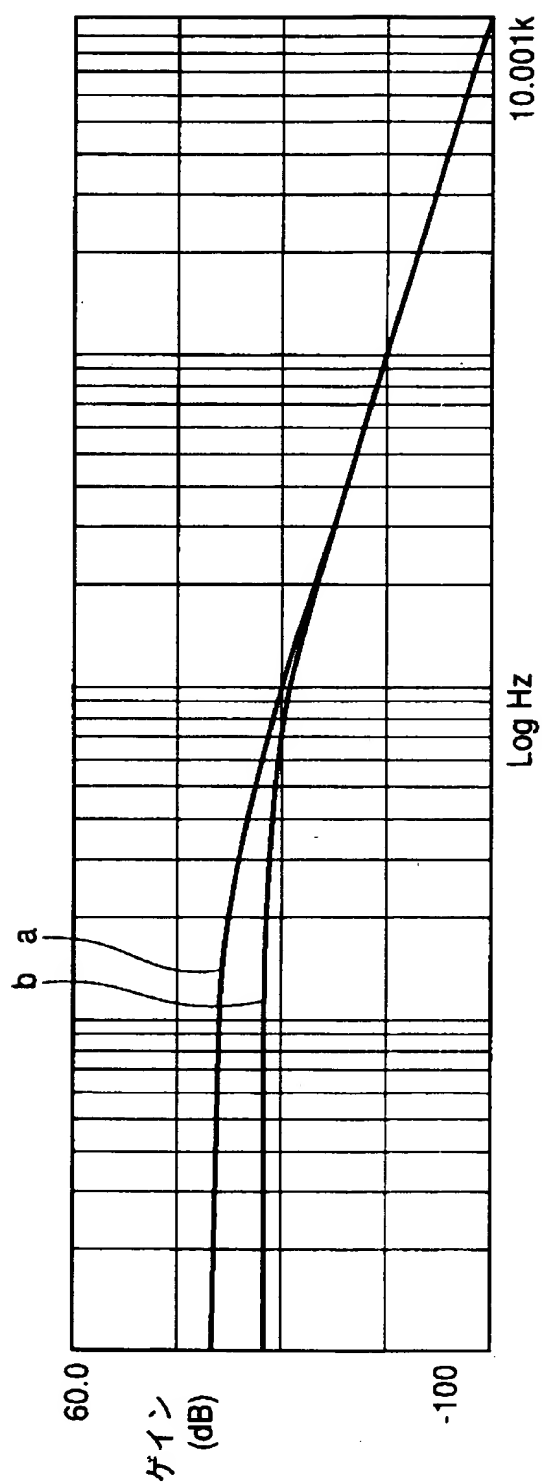
【図 12】



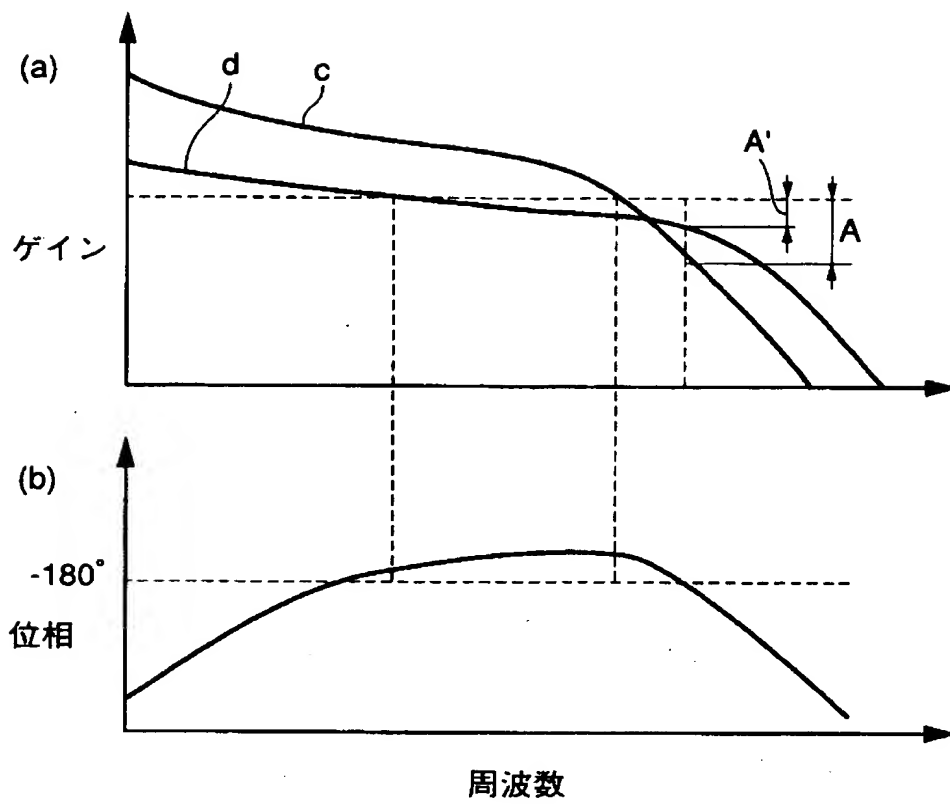
【図 13】



【図 1 4】



【図 1 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 磁気軸受制御の制御安定性の確保が可能なエキシマレーザ装置用貫流ファンの構造を提供する。

【解決手段】 回転軸 2 を非接触で支持する 2 つのラジアル磁気軸受 1 0 1 と 1 0 3 とを配置し、これらの近傍に保護軸受 1 1, 1 5 を配置し、モータ側のラジアル磁気軸受 1 0 1 によってモータ 1 0 4 のもつばね要素を補正する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000102692]

1. 変更年月日	1990年 8月23日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
氏 名	エヌティエヌ株式会社